

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-155409

(P2000-155409A)

(43)公開日 平成12年6月6日(2000.6.6)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード ⁸ (参考)
G 03 F 1/08		G 03 F 1/08	V 2 H 0 9 5
H 01 L 21/027		H 01 S 3/00	B 5 F 0 7 2
H 01 S 3/00		H 01 L 21/30	5 0 2 P
			5 0 2 W

審査請求 未請求 請求項の数3 OL (全 6 頁)

(21)出願番号	特願平10-331631	(71)出願人	396020800 科学技術振興事業団 埼玉県川口市本町4丁目1番8号
(22)出願日	平成10年11月20日(1998.11.20)	(71)出願人	598160694 古宇田 光 奈良県生駒市高山町8916-47
		(71)出願人	597118636 近藤 裕己 奈良県奈良市鶴舞西町二丁目28番303号
		(72)発明者	古宇田 光 奈良県生駒市高山町8916-47
		(74)代理人	100092392 弁理士 小倉 亘

最終頁に続く

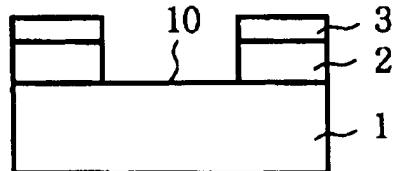
(54)【発明の名称】 フォトマスクの修正方法

(57)【要約】

【目的】 基板にダメージを与えることなく、 $1 \mu m$ 以下の精度でフォトマスクを修正し、黒欠陥を除去する。

【構成】 基板1上に形成されたクロム薄膜2、酸化クロム膜3からなるフォトマスクをレーザ加工で修正する際、フォトマスクをパルス幅3~16psのレーザ光で照射する。レーザ光としては、600~1100nmの波長をもつものが好ましい。

【作用】 パルス幅3~16psのレーザ光で照射するとき、基板1がダメージを受けることなく、クロム薄膜2及び酸化クロム膜3が選択的に加工され、シャープなエッジをもつ加工部が形成される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に設けられた金属薄膜からなるフォトマスクをレーザ光で修正する際、パルス幅3～16psのレーザ光を照射して金属薄膜を選択的に加工し、フォトマスクの黒欠陥を除去することを特徴とするフォトマスクの修正方法。

【請求項2】 波長600～1100nmのレーザ光を使用する請求項1記載のフォトマスクの修正方法。

【請求項3】 石英ガラス基板上に設けられた合計膜厚30～120nmのクロム薄膜及び酸化クロム膜からなるフォトマスクをレーザ加工で修正する際、エネルギー密度4～5J/cm²でパルス幅3～16ps、波長600～1100nmのレーザパルスを1発照射することを特徴とするフォトマスクの修正方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、LSI、液晶等のパテーンニングに使用されるフォトマスクの黒欠陥を修正する方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 LSI、液晶等の極微細部品には、フォトエッチングで必要構造をもつ回路が書き込まれている。フォトエッチングでは、被加工物の表面をフォトマスクで覆って所定のパターンに従って露光させている。フォトマスクとしては、石英ガラス基板上に形成したクロム、チタン等の金属薄膜、更には腐食防止用にクロム酸化物をクロム薄膜の上に積層したものが一般的に使用されている。なお、以下の説明では、酸化物膜をも含めた意味で「金属薄膜」を使用する。フォトマスクは、一般に石英基板上に金属薄膜を蒸着した後、レジストを塗布し、電子ビーム等を用いてパターン露光し、金属薄膜を化学的にエッチングする工程を経て製造されるが、レジストやエッチングの不均一性のため黒欠陥が発生しやすい。フォトマスクに黒欠陥があると、本来フォトエッチングされる部分が光照射されず、LSI、液晶等に回路不良を発生させる原因になる。そのため、黒欠陥を修正する必要がある。フォトマスクの修正には一般的にレーザが使用されており、レーザ照射するとその部分の金属薄膜が加熱されて蒸発し黒欠陥が除去される。通常の修正精度は1μm程度であるが、より複雑で微細な回路構成が要求される傾向に応じてより高い修正精度が求められている。

【0003】 修正精度の向上に関しては、レーザビームの強度分布を均一にしてスリットの転写加工により均一に修正する方法(特開昭56-164345号公報)、スリットの幅を精密に制御することで修正精度を向上させる方法(特開平3-27042号公報)等が紹介されている。修正には、波長1064nmを発生するNd:YAG、Nd:YVO等が代表的なレーザとして使用されており、532nmの第2高調波や355nmの第3

高調波を使用する場合もある。Nd:YAG、Nd:YVO等のレーザ光は、Qスイッチによりパルス駆動され、パルス幅は数百ps～数十nsで2発以上のパルスで加工されている(NEC技報1977年50巻3～11頁)。

【0004】 フォトマスクの修正用には、集光されたイオンビームを用いてフォトマスクを修正する装置(FIB装置)が開発されている。FIB装置では、Ga等のイオンを加速し、真空チャンバー中に設置したフォトマスクに照射して黒欠陥を除去している。FIBは、従来のレーザ修正精度に比較して0.5μm以下の高い修正精度を呈するため、LSI微細配線用フォトマスクの修正に適している。たとえば、特開平7-28227号公報では、この方法に従って基板上のCrを選択的に加工している。また、Tiサファイア結晶等を用いたフェムト秒パルスレーザが開発され、アメリカのヒュンタント社、スペクトラフィジクス社等が製品化している[スペクトラフィジクス製品カタログ10頁(1998年)]。超短パルスレーザは、波長変換システムも組み合わせるとフェムト秒オーダーのパルス幅の光を266nm～3μmと幅広い波長で発振することが可能である。

【0005】 超短パルスレーザを用いた材料加工の研究は、ドイツのLHZ等で行われており(アプライドフィジクスA1996年63巻106～110頁)、ガラス、シリカ、エナメル、ステンレス鋼、アルミニウム、銅、スチール、シリコン、窒化アルミニウム等の材料を加工した例が報告されている。超短パルスで照射すると、パルス幅の時間がレーザ光を吸収した材料の熱伝導時間よりも短い場合、レーザのエネルギーが照射部周辺に伝播することなく、照射部分の材料が瞬間に蒸発する。その結果、熱変質を抑制した加工が可能となる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 フォトマスクの修正に現状で使用されているレーザは、nsパルスオーダーのレーザであり、1μm以下の精度で修正することが困難になっている。すなわち、従来型のレーザでは、吸収されたエネルギーが熱伝導で周辺に伝播してしまうため、加工部周囲の熱変質が避けられず、またアプレーションできなかった金属薄膜が融解し加工部内部及び周辺で固化してしまう。そのため、加工部のエッジがシャープにならず、修正精度は1μm程度が限界である。更に、融解金属の一部が固化して加工底面を覆い、ガラスの透過率を低下させる。修正加工の精度を1μm以下に向上させ、透過率を下げないためには、レーザを照射した周囲への熱影響を極力抑制して金属薄膜の融解を防ぎ、加工部のエッジをシャープに成形することが要求される。

【0007】 修正精度が高いFIB装置による場合でも、石英基板がダメージを受けやすく、フォトマスクの修正後にガラスをエッチングする必要がある。しかも、

真空チャンバー中に試料を設置する必要があることから、修正前後の処理に時間がかかり、装置コスト、ランニングコストも高く、装置サイズは大型にならざるを得ない。この点、基板にダメージを与えることなく、常圧でフォトマスクを修正する方法が望まれている。

【0008】他方、超短パルスレーザを用いて金属薄膜を大気雰囲気下で加工すると、レーザ照射部に直径数十～数百nm、高さ100nm程度の円錐状に加工残渣が堆積する。加工残渣の堆積は、熱伝導伝達時間よりもパルス幅が短いため干渉等で生じたレーザビームの強度分布が熱伝導で均一化されず、アブレーションされない部分が山状に残留することが原因である。すなわち、山状のテーパ部は、入射レーザに対する角度が大きくなつてレーザ光を反射するので、加工されない。これにアブレーションした金属が堆積するため、上方向に成長した円錐状の残渣となる。真空チャンバーを用いることなく超短パルスレーザでフォトマスクを修正するためには、円錐状の残渣を除去する必要がある。更に、ガラス基板上に異種材料である金属薄膜が一体化されたフォトマスクを超短パルスレーザで加工する場合、レーザのパワー密度が非常に高いため、ガラス基板及び金属薄膜の双方が同時に加工されやすく、金属薄膜だけを選択的にアブレーション加工することは非常に困難である。この点、基板と金属薄膜の加工閾値の差を大きくし、金属薄膜を選択的に加工することが望まれる。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明は、このような要求に応えるべく案出されたものであり、フォトマスクの修正にパルス幅が規制された超短レーザを使用することにより、大気下にあるフォトマスクの基板である石英ガラス等にダメージを与えることなく、フォトマスクを構成している金属薄膜を選択的にアブレーションし、1μm以下の修正精度でフォトマスクを修正することを目的とする。本発明は、その目的を達成するため、基板上に設けられた金属薄膜からなるフォトマスクをレーザ光で修正する際、パルス幅3～16psのレーザ光を照射して金属薄膜を選択的に加工し、フォトマスクの黒欠陥を除去することを特徴とする。レーザ光の波長は、600～1100nmの範囲にあるものが好ましい。石英ガラス基板上に設けられた合計膜厚30～120nmのクロム薄膜及び酸化クロム膜からなるフォトマスクをレーザ加工で修正する場合、エネルギー密度4～5J/cm²でパルス幅3～16ps、波長600～1100nmのレーザパルスを1発照射するとき、1μm以下の精度でフォトマスクが修正される。

【0010】

【作用】超短パルスレーザのパルス幅を徐々に長くすると、照射した金属薄膜中のパルス時間当りの熱伝導距離も徐々に長くなる。熱伝導距離がレーザパワーの強度ムラの周期程度になると、加工残渣なく金属薄膜をアブレ

ーションできる。しかし、過度に長い熱伝導距離では、熱影響によって加工部のエッジが融解する。本発明者等は、このような前提の下でパルス幅を選択することにより、加工残渣及び融解を抑制し、シャープなエッジ及びコーナーをもつ加工が可能になることを見出した。石英ガラスを基板とするものでは、超短パルスレーザのパルス幅を3～16psの間に調整することにより、加工残渣なく基板上のCr薄膜を1μm以下の修正精度でアブレーションできる。

【0011】基板にダメージを与えることなく、金属薄膜を超短パルスレーザでアブレーションするためには、基板及び金属薄膜それぞれのアブレーション閾値の差を大きくすることが必要である。アブレーション閾値は材料の吸収特性に關係しており、吸収特性は波長依存性がある。具体的には、ある波長に対する吸収係数の差が大きいほど、アブレーション閾値の差も大きくなる。たとえば、基板として使用される石英ガラスでは、吸収特性の吸収端が約200nm程度であり、200nm～数μmの範囲ではほとんど吸収がない。他方、金属薄膜として使用されるクロム及びクロム薄膜の上に積層される酸化クロムは、200～1100nmの範囲で30%程度のフラットな吸収特性を示し、1100nmを超える波長では反射率が100%近くなるため吸収がゼロに近づく。

【0012】線形吸収だけを考慮すると石英ガラスとCr薄膜の吸収係数の差は200～1100nmの範囲でほぼ同じであるが、ピークパワーが非常に大きな超短パルスレーザを用いた照射では多光子吸収による影響もある。たとえば、石英ガラスを400nmの光で照射すると2光子、600nmでは3光子の吸収が生じ、吸収係数が増大する。したがって、レーザ加工に用いる波長をガラスで3光子吸収が生じない600nm以上、クロム薄膜で30%の吸収係数を示す1100nmの間に設定すると、石英ガラスとクロム薄膜の多光子吸収を含めた吸収係数の差を大きくでき、結果としてアブレーション閾値の差が大きくなる。すなわち、波長を600～1100nmの範囲に調整したレーザを使用することにより、石英ガラス基板上に形成したクロム薄膜を選択的に加工し、且つ基板のダメージを抑制できる。

【0013】フォトマスクの修正に際し、レーザのパルス数を多くすると僅かなビームの揺らぎによっても加工精度が落ちる傾向が強くなる。この種の加工精度の低下は、一般的なフォトマスクの仕様である石英ガラス基板上に設けた膜厚80～120nmのクロム薄膜を1発のパルスでアブレーションできるエネルギー密度に調整することにより防止できる。具体的には、パルス幅を3～16ps、波長を600～1100nm、パルス1発当たりのエネルギー密度を4～5J/cm²に調整することにより、クロム薄膜を1発のパルスで加工でき、修正精度を0.5μm以下の高精度にすることが可能となる。

【0014】

【実施例】実施例1：本実施例では、図1に示すように厚さ2mmの石英ガラス基板1上に膜厚100nmのクロム薄膜2を設け、更に膜厚20μmの酸化クロム膜3を積層したフォトマスクを加工試料として使用した。レーザ加工には、Tiサファイア結晶を発振材料としたオシレータンプシステム及び高調波発生システムをもち、波長266～2000nm、パルス幅120fs～100psの光を1kHzの繰返しで平均出力100～800mW出力できる装置を使用した。図2に示すようにレーザ光源4から出射された径8mmのビームを800nmに調整し、レンズペア5でビーム径を3～30nmの範囲で適当な大きさに調整した。アッテネータ6でレーザパワーを調整した後、ビーム品質の良好な中心部分だけを0.5mm角の四角スリットを透過させ、100倍の対物レンズ8に導入し、結像位置に配置したフォトマスク9に照射した。

【0015】照射条件としては、転写パターンの大きさを2μm角、照射エネルギー密度を1.2J/cm²に調整し、パルス幅を120fs～100psの範囲で変化させて4発のパルスを照射した。パルス幅3～16psで照射した場合、図3に示すようにレーザを転写した石英ガラス基板1の表面10に加工残渣がなく、加工エッジもシャープな2μm角のパターンが形成された。フォトマスクの修正には、転写パターンの辺及び角の部分を金属薄膜の黒欠陥部分に照射して除去するため、パターン以下の大さの黒欠陥も修正できる。因みに、図3のパターンでは、1μm以下の精度で修正できた。

【0016】比較例1：パルス幅を120fs～3psとする以外は実施例1と同じ条件でレーザ加工したところ、図4(a)に示すように転写パターンの中及び周辺に径数μm、高さ10～100nm程度の円錐状の加工残渣11が観察された。加工残渣11により石英ガラス基板1の透過率が約30%低下したため、パルス幅120fs～3psではフォトマスクの修正ができなかつた。パルス幅を16～100psに替えてレーザ加工したところ、図4(b)に示すように、一旦融解した後で固化した残渣12が加工穴の底部に生じた。融解固化残渣12により石英ガラス基板1の透過率が約20%低下したため、フォトマスクの修正にはパルス幅16～100psのレーザは使用できなかつた。この場合には、更に加工部のエッジにダレが発生し、1μm以下の修正精度が得られなかつた。

【0017】実施例2：照射エネルギー密度を1.2J/cm²、パルス幅を16ps、パルス数4発に固定し、600～1100nmの範囲で波長を変化させる以外は、実施例1と同様にしてフォトマスクをレーザ加工した。この条件下では、石英ガラス基板1に何らダメージを与えることなく、石英ガラス基板1上のクロム薄膜2及び酸化クロム膜3を選択的にアブレーション加工で

き、修正精度も1μm以下であった。

【0018】比較例2：波長を400～600nmの範囲で変化させる以外は実施例2と同じ条件下でフォトマスクを加工したところ、図5(a)に示すように転写パターンの石英ガラスにダメージ13が生じた。ダメージ13は、多光子吸収のために石英ガラスの一部がアブレーション加工されて平滑でなくなり、石英ガラス基板1の透過率を低下させた。そこで、エネルギー密度を0.5J/cm²に落として加工したところ、8発照射後に同様なダメージが生じた。ダメージの発生は、エネルギー密度を更に下げるによって防止できるが、必要とするパターンにクロム薄膜2及び酸化クロム膜3を加工するためには8発以上のパルス数が必要であった。具体的には、エネルギー密度0.4J/cm²のレーザパルスを16発加えるときクロム薄膜2及び酸化クロム膜3がアブレーションされたが、転写パターンのズレ14が避けられず、図5(b)に示すように加工エッジがぼけてしまった。

【0019】以上の結果から、400～600nmの波長では、1μm以下の精度でフォトマスクを修正できないことが判った。更に、実施例2と同じ条件下で波長を1100～1500nmに調整して加工したところ、エネルギー密度1.2J/cm²の4発照射ではクロム薄膜2及び酸化クロム膜3がほとんど加工されず、エネルギー密度1.5J/cm²の8発照射でもクロム薄膜2及び酸化クロム膜3を完全にアブレーション加工することはできなかつた。32発程度の照射でアブレーション加工できたが、パターンが図5(b)と同様に悪くなり、1100～1500nmの波長では1μm以下の加工精度が得られなかつた。

【0020】実施例3：パルス幅を3ps、波長を800nm、パルス数を1発に固定してエネルギー密度を変化させる外は実施例1と同じ条件下でフォトマスクを加工し、石英ガラス基板1にダメージを与えることなく、クロム薄膜2及び酸化クロム膜3が完全にアブレーションされる条件を調査した。その結果、エネルギー密度を4～5J/cm²の範囲に設定するとき、1発のパルスで加工でき、図6(a)に示すように加工部のエッジ15がほぼ90度のシャープになったパターンが形成された。

40 1発照射によるフォトマスクのリペアを試みたところ、修正精度が0.5μm以下となっており、FIB装置を用いた加工とほぼ同じ値を示した。比較例3：エネルギー密度4J/cm²、2発照射とする以外は実施例3と同じ条件下でフォトマスクを加工した。加工によって形成されたエッジ16は図6(b)に示すようにテーパが大きくなつておらず、修正精度は0.7μmであった。

【0021】

【発明の効果】以上に説明したように、本発明においては、フォトマスクをレーザ加工で修正する際、使用するレーザ光のパルス幅を3～16psの範囲に調整するこ

とにより、シャープなエッジをもつ加工部を形成し、精度 $1 \mu\text{m}$ 以下の修正を可能にしている。しかも、真空チャンバを必要とすることなく、基板にダメージを与えることなく、フォトマスクの高精度修正が可能になる。このようにして修正されたフォトマスクは、極めて精度の高いパターンをもっているので、高密度化、高集積化の要求が一段と高くなっている LSI、液晶等の製造に適したものとなる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 クロムフォトマスクの断面構造

【図2】 レーザ加工法に使用されるフォトマスク修正装置

【図3】 パルス幅 $3 \sim 16 \text{ ps}$ のレーザ光を照射した場合のクロムフォトマスクの加工パターン【図4】 パルス幅 $3 \sim 16 \text{ ps}$ のレーザ光で加工した

場合に生じる加工残渣 (a) 及び融解固化残渣 (b)

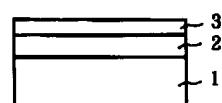
【図5】 波長 $400 \sim 600 \text{ nm}$ のレーザ光で加工した場合に生じるダメージ (a) 及びダレのある転写パターン (b)

【図6】 1発のレーザパルスで形成されたシャープな加工部のエッジ (a) 及び2発のレーザパルスで形成されたテーパ付きのエッジ (b)

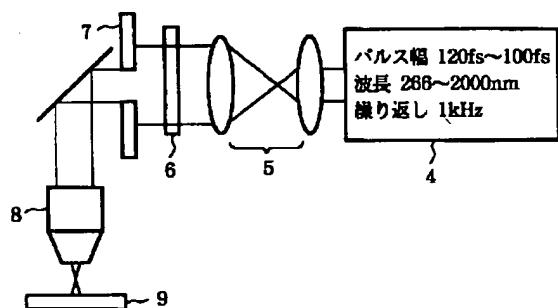
【符号の説明】

1 : 石英ガラス基板 2 : クロム薄膜 3 : 酸化クロム膜 4 : レーザ光源 5 : レンズ系 6 : アッテネータ 7 : 四角スリット 8 : 対物レンズ 9 : フォトマスク 10 : 加工後の石英面 11 : 加工残渣 12 : 融解固化残渣 13 : ダメージ 14 : 転写パターン 15 : シャープな加工部のエッジ 16 : ダレのある加工部のエッジ

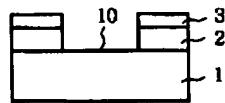
【図1】



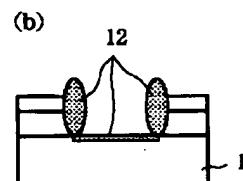
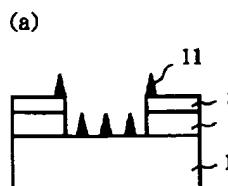
【図2】



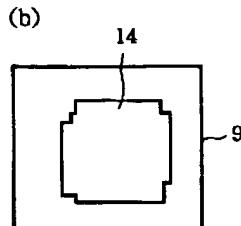
【図3】



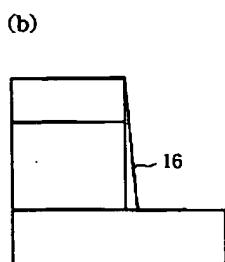
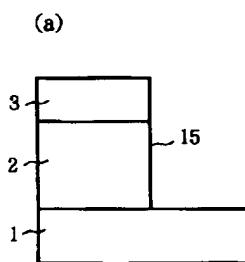
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 近藤 裕己
奈良県奈良市鶴舞西町二丁目28番303号

(72)発明者 平尾 一之
京都府相楽郡木津町木津川台三丁目5番8
号
F ターム(参考) 2H095 BD32 BD34
5F072 AB20 JJ20 QQ02 RR01 RR03
SS08 YY08